

# 地殻構造探査システムの音源が海棲ほ乳動物に与える影響

○土屋利雄 (JAMSTEC/東京海洋大)、後藤慎平 (JAMSTEC/筑波大)、清水悦郎 (東京海洋大)

## 1. はじめに

地殻構造探査システム (MCS) は地震の震源域調査や石油探査には極めて有効な手段である。しかし、その音源であるエアガンが高出力であるため海棲ほ乳動物の生態に影響を与えるという懸念が世界的に示されており<sup>1)</sup>、システムの運用中に遊泳動物を監視することが推奨されている。そこで、現在 JAMSTEC で建造中の広域資源探査船の MCS のエアガン音源を対象として、船舶から目視で監視可能な範囲で Normal Mode 理論を用い音圧分布やレベルを算出し環境雑音を基に S/N を調査した。

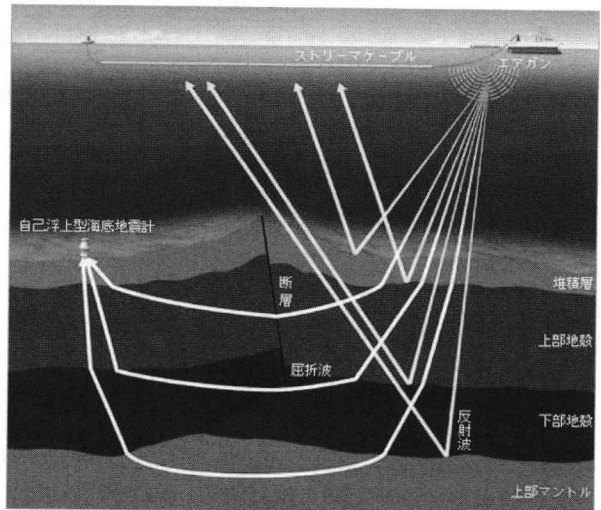


Fig. 1 MCS の概要

## 2. MCS による地殻構造探査

マルチチャンネル反射法地震探査

(Multi-Channel Seismic System: MCS) は、大出力の低周波音源を用い、海底下の地殻を通過・反射して戻ってきた信号を船で曳航する長大なハイドロフォンアレー (ストリーマケーブル) で受波し、その信号から海底下の大深度 (~100km) 構造を調べるシステムである。地下の速度構造の推定のために海底に設置した海底地震計 (Ocean Bottom Seismograph: OBS) で地震波をとらえる屈折法地震探査も併用されることが多い。ここで利用される高出力の音源として Fig.2 のような高压の圧縮空気を瞬時に

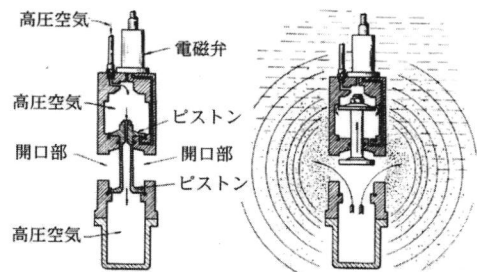


Fig. 2 エアガンの原理

解放するエアガンが用いられる。Fig.3 に現在 JAMSTEC で建造中(2016年2月完成予定)の広域探査船(5,500GT)に搭載される MCS の音源 (エアガン) の

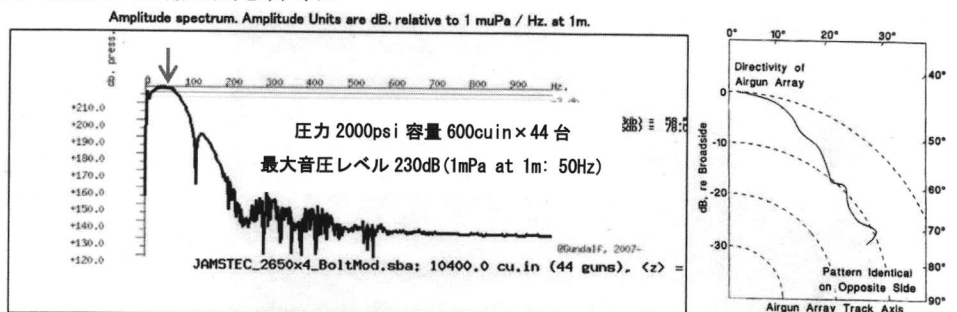


Fig. 3 広域探査船に搭載されるエアガンの周波数特性と指向特性 (Bolt 社提供)

周波数特性(左)と指向特性(右)を示した。中心周波数 50Hz であり、送波レベルは 230dB (re 1  $\mu$  Pa) という極めて強力な音源である。

## 3. 解析手法及び調査海域

MCS により調査を行う JAMSTEC の船舶は、ブリッジから海棲哺乳動物を常に監視して遊泳

\* The influence a high power air gun source of MCS exerts on marine mammal.

Toshio Tsuchiya (JAMSTEC / Tokyo Univ. of Marine Science and Technology),

Shinpei Goto (JAMSTEC / Tsukuba Univ.), Etsuro Shimizu (Tokyo Univ. of Marine Science and Technology)

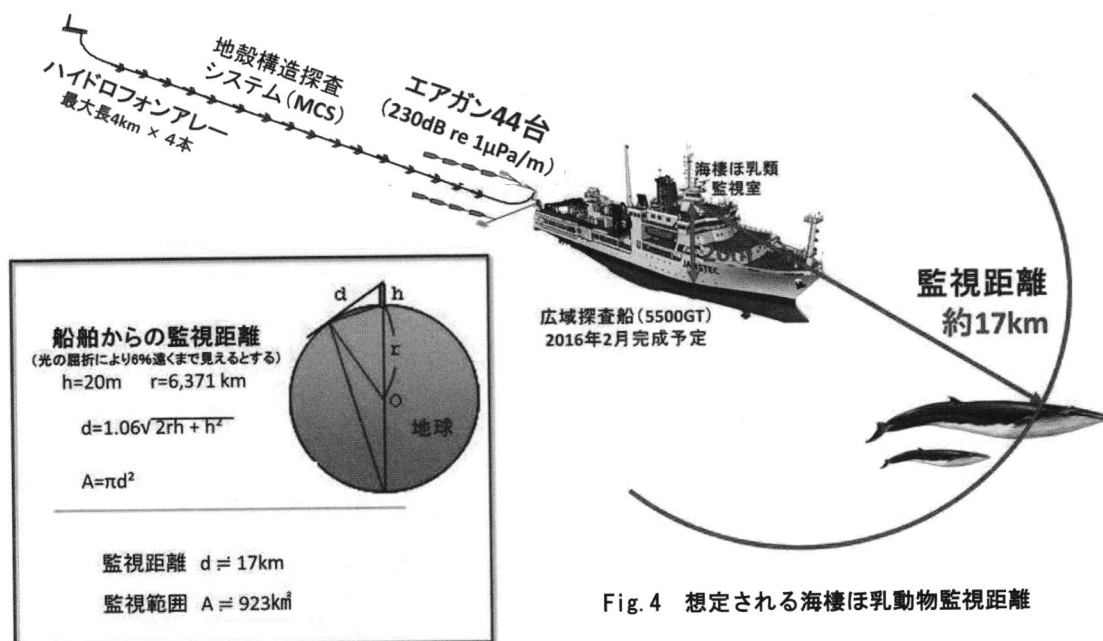


Fig. 4 想定される海棲ほ乳動物監視距離

中の動物が視界に入った場合は、直ちにエアガンを停止するように定められており、そのために建造中の広域探査船にはブリッジの上部（海面上 20m）に専用の海棲哺乳類監視室が設けられる。受波レベルの計算を行うために先ず Fig. 4 のようにこの監視室からの最大監視距離を求めた。この図のように外洋における水平線

までの距離は、容易に求めることができる。ここでは、大気の影響により 6%ほど更に遠方まで見えるとし、海面上 20m の監視室から約 17km 遠方まで見通せると求められた。<sup>2)</sup>

MCS を運用する海域として Fig. 5 のように日本近海で代表的な音速プロファイルを持つ高・中・低緯度海域を選定した。この図での音

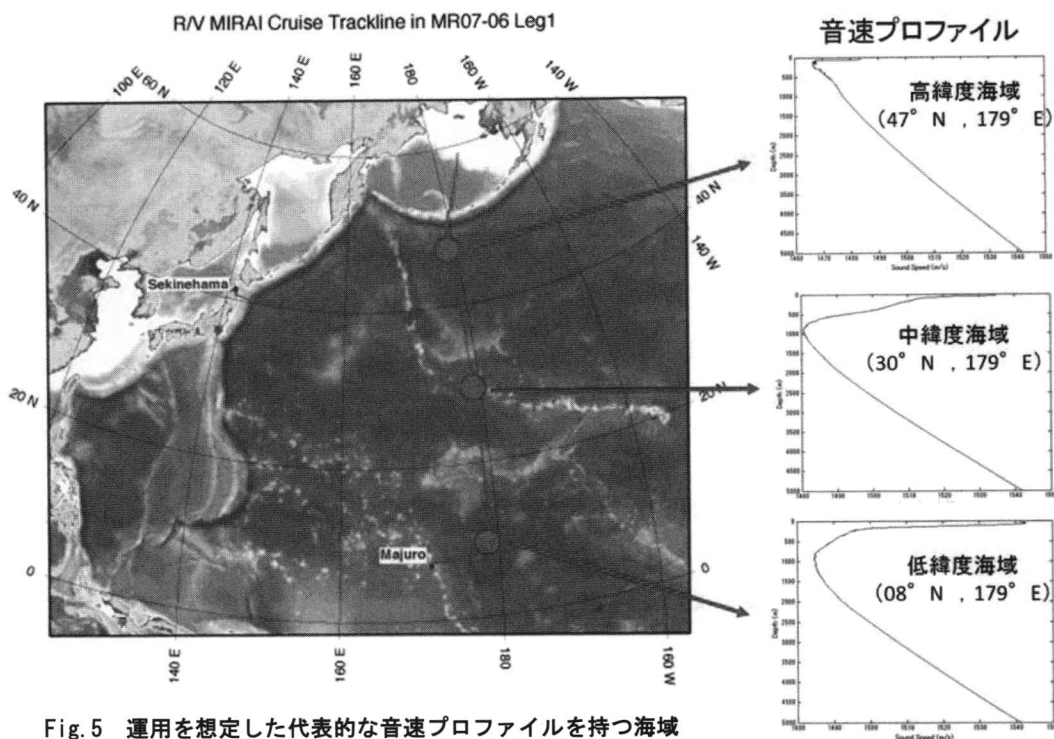


Fig. 5 運用を想定した代表的な音速プロファイルを持つ海域

速プロファイルは、観測船「みらい」が2007年に取得した深度・水温・塩分データを基に UNESCO の音速換算式によって音速プロファイルを作成した。<sup>3)</sup> シミュレーション計算は、この音速プロファイルを基に Normal Mode 法を用いてエアガンを音源として監視範囲 17km までの音圧分布を各海域で求めた。音源深度は、エアガンの運用深度 5m とし、送波周波数は、50Hz、海域深度は、5,000m としている。ここでは、最大伝搬距離が 17km と短いので音速分布は、一様であると仮定し、Mode1~300 を加算して伝搬減衰を求めた。

#### 4. 音圧分布と伝搬減衰の計算結果

##### (1) 高次モードにおけるシミュレーション

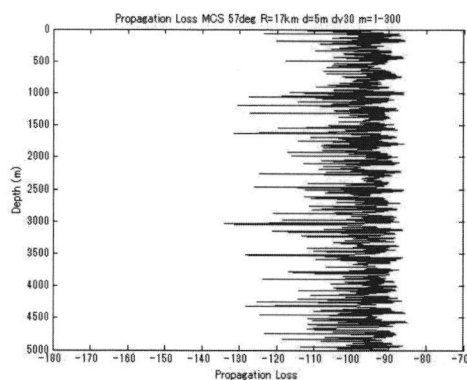
Fig. 6 に音源から監視距離 17km における伝搬減衰を示した。距離 17km における伝搬減衰は、最大値で概ね -85~-90dB と各海域で大きな差異がない。これは、海底の音速を 1600m/s とし海底に到達した音波の大半が反射すると仮定したためである。すなわち、高次のモードまで考えたと海底まで到達した音波は海底-海面間での反射を繰り返し、伝搬時間の異なる、あらゆる経路のパスがすべて重畳すると考えられる。これを確認するために PE 法を用いてパルス波伝搬シミュレーションを実施した結果、Fig. 7 のようにエアガンから送信される短いパルス波(100ms 以下)が数秒間持続して受信されることがわかった。海底反射を考慮するモード計算による伝搬減衰計算でも単純な球面拡散減衰 ( $20\log 1/17000 = -85\text{dB}$ ) の値とほぼ同様である。しかし、海底反射特性は、底質や地層の厚さなどによって様々であるため、海域によって反射レベルが大きく変わる可能性が考えられる。

##### (2) 海底反射の影響

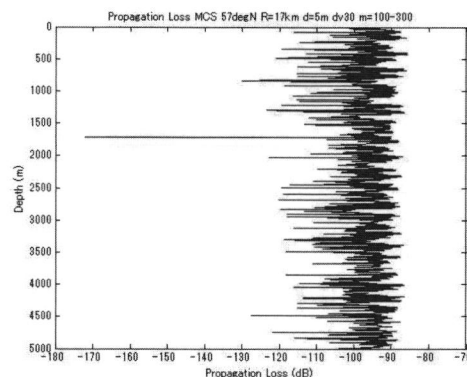
海底反射の影響を調査するためにモードフィルタによりモード数を 1-100 までとした伝搬減衰分布図を Fig. 7 に示す。併せて、Fig. 8 にはこの分布図における伝搬距離 17km での減衰の鉛直分布を示した。Fig. 8 と Fig. 8 から海底反射の影響を排除した低次のモードにおける伝搬減衰分布は、音速プロファイルの形状によって大きな影響を受けることが見て取れる。Fig. 8 でわかるように、浅海域では、高緯度海域での音圧レベルが概ね 10dB 大きい。これは、高緯度海域では、音速最小層が水面近くにあり、励起される低次モードがサウンドチャンネル付近の音速プロファイルの変化が緩やかであるため励起されるモード形状の違いが現れていると推測される。

##### (3) S/N の検証

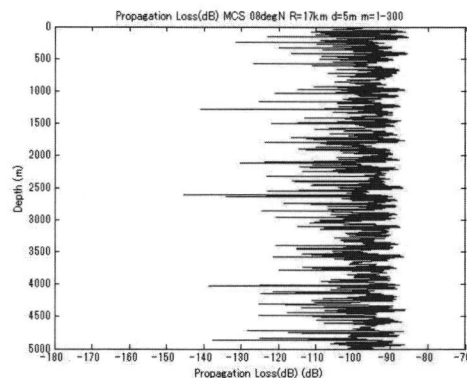
次に Fig. 6, 9 の伝搬減衰を基に音源 (230dB) から受信レベルに換算し、代表的な雑音値を用いて距離 17km における S/N を検証した。その結果、鯨などが潜水できる水深 300m までの S/N



(1) 高緯度海域



(2) 中緯度海域



(3) 低緯度海域

Fig. 6 Normal Mode 法による減衰分布  
(mode 数 1-300)

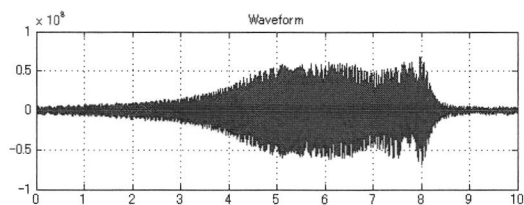
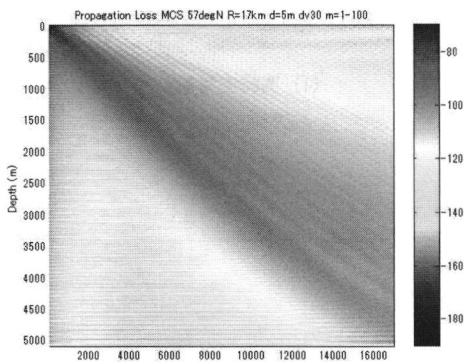


Fig. 7 受信パルス (17km, 水深 300m)

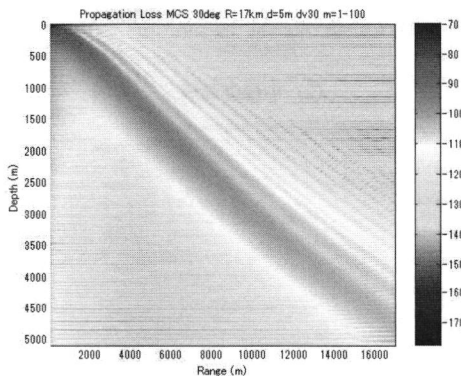
は、海底からの反射の少なく、さらに近くに船舶が航行するような環境では、あまり影響がないということがわかった。しかし、海底反射の大きい沿岸域では、鯨などの海棲哺乳動物などに影響を与える可能性があるといえる。<sup>4)</sup>これらは、環境保護の観点からの慎重に影響調査を行う必要がある。今後は、海洋生物分野の研究者にも協力をもとめ、研究を継続していく予定である。

#### 参考文献

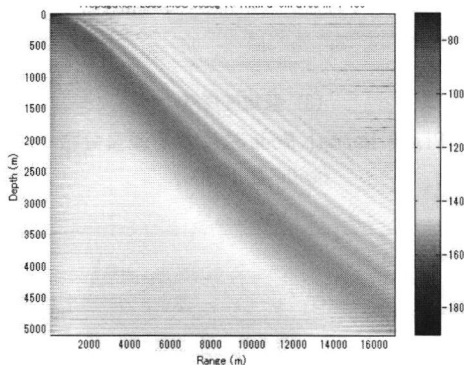
- 1) Gedamke J, Gales N, Frydman S, "Assessing risk of baleen whale hearing loss from seismic surveys: The effect of uncertainty and individual variation." JASA 129(1): pp496-506.. (2011)
- 2) <http://keisan.casio.jp/has10/SpecExec.cgi?id=system/2006/1179464017>
- 3) <http://www.tsuchiya2.org>
- 4) W. J. Richardson, etc., "Marine Mammals and Noise": pp205-240, Academic Press, 1995



(1) 高緯度海域

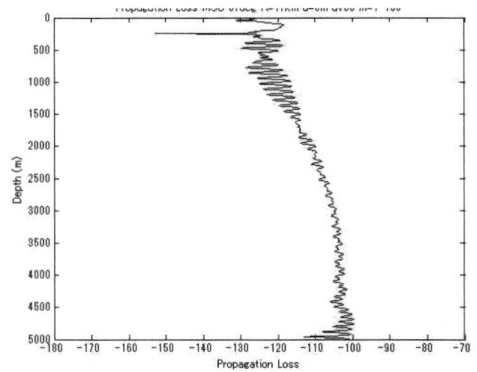


(2) 中緯度海域

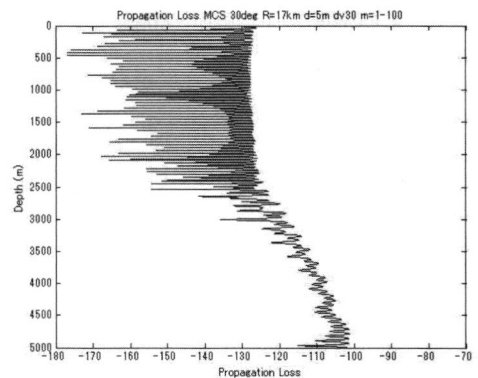


(3) 低緯度海域

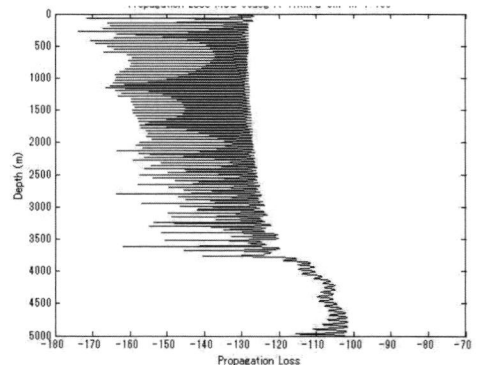
Fig. 8 伝搬減衰分布 (mode1-100)



(1) 高緯度海域



(2) 中緯度海域



(3) 低緯度海域

Fig. 9 伝搬減衰鉛直プロファイル  
(距離 17km, mode1-100)